

**EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA CALIDAD
DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL
MUNICIPIO DE DUITAMA MEDIANTE
HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**DUITAMA'S CITY HUMAN CONSUMPTION WATER
RISK ASSESSMENT THROUGHOUT GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM TOOLS**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

D./D^a STELLA CAROLINA CARVAJAL RINCÓN

Dirigido por:

Dr./Dra. D./D^a FRANCISCO CAREÑO CONDE

Alcalá de Henares, a 15 de septiembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

A las Universidades de Alcalá y Rey Juan Carlos, por mostrarme el maravilloso mundo detrás de la hidrología, por aumentar el amor hacia el agua y brindarme todas las herramientas necesarias para la elaboración del Trabajo Final de Master.

Al Doctor Francisco Carreño Conde, por la asesoría y dirección dada en todo el desarrollo del proyecto.

A la Ingeniera Viviana Garcés Vargas, por el apoyo brindado y su aporte en los shape necesarios para la elaboración de los mapas.

Y a cada una de las instituciones que proporcionaron las herramientas necesarias para el desarrollo del documento.

ÍNDICE

Resumen	8
1.Introducción	9
2.Justificación. Objetivos	9
3.Metodología	10
3.1. Zona de Estudio	10
3.2. Recopilación de información	16
3.3. Análisis de la información	19
3.4. Evaluación e identificación del riesgo.....	20
3.4.1. Evaluación de impactos y vulnerabilidades	21
3.4.2. Riesgo	22
3.5. Aplicación de herramientas de información geográfica	23
4. Resultados	24
4.1. Análisis de la información	24
4.1.1 Muestras urbanas y rurales	24
4.2. Análisis de resultados	28
4.3. Identificación y evaluación del riesgo	31
4.4. Evaluación de impactos y vulnerabilidades	36
4.4.1. Zona urbana	36
4.4.2. Zona urbana	38
5. Discusión	39
5.1. Análisis de resultados de las muestras de agua para consumo humano	39
5.2. Evaluación de impactos y vulnerabilidades	42
5.3. Discusión de normas internacionales de calidad de agua para consumo humano (España-México)	45
6. Conclusiones	47
7. Bibliografía	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización zona de estudio	13
Figura 2. Mapa de distribución espacial de puntos de muestreo de agua para consumo humano.....	27
Figura 3. Grafico valores de turbiedad zona urbana 2019	28
Figura 4. Grafico valores de color aparente zona urbana 2019.....	29
Figura 5. Grafico valores de color aparente y turbiedad zona rural 2019	29
Figura 6. Grafico valores de cloro residual libre y E.Coli zona rural 2019	30
Figura 7. Grafico valores de IRCA Municipal 2019.....	31
Figura 8. Mapa IRCA urbano municipio de Duitama 2019	33
Figura 9. Mapa IRCA municipal Duitama 2019	35

TABLA DE ABREVIATURAS

E.S.P.: Empresa de Servicios Públicos

LDSP: Laboratorio departamental de salud pública.

ICA: Índice de calidad de agua independiente de su uso

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IRCA: Índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano

OMS: Organización Mundial de la Salud

POT: Plan de Tratamiento Territorial

PTAPs: Plantas de tratamiento de agua potable.

SIG: Sistema de información geográfica

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Master describe el estudio realizado para identificar y evaluar los riesgos sanitarios de la calidad de agua destinada al consumo humano de los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia. A partir de los resultados de las muestras en red del año 2019, se realiza una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos y vulnerabilidades identificados en este sistema.

La evaluación se llevó a cabo mediante la aplicación de herramientas estadísticas de Excel a partir de los informes emitidos por el Laboratorio Departamental de Salud Pública de Boyacá, utilizando sistemas de información geográfica SIG, con el fin de identificar las zonas de mayor riesgo del municipio, obteniendo como producto dos mapas en donde se identifica los resultados de los parámetros básicos de calidad de agua distribuida para el consumo humano, según lo establecido en el código de colores de la tabla de IRCA.

Los resultados del trabajo demuestran que la zona rural del municipio de Duitama presenta valores de riesgo medio y alto en la mayoría de sus veredas, por la presencia de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos no aceptables según lo establecido en la Resolución 2115 de 2007.

Los resultados se emitieron de manera sencilla y eficaz, de fácil comprensión para que sea entendido por la comunidad en general, con el fin de identificar las principales deficiencias en la captación, tratamiento y distribución de agua para consumo humano en el municipio de Duitama.

Por último, se realizó una revisión muy general de los valores paramétricos admisibles de las normas española y mexicana, comparada con la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombiano.

1. INTRODUCCIÓN

La distribución de agua apta para consumo humano, lleva consigo una cantidad significativa de procedimientos que abarcan todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la captación, pasando por el tratamiento realizado, hasta el consumo final. En estos procesos se genera impactos y vulnerabilidades para la calidad del agua, como el desabastecimiento, uso de pesticidas y/o fungicidas en la cuenca de las bocatomas, el tratamiento inadecuado del agua, características fisicoquímicas y microbiológicas no aceptables, la capacidad de las empresas o entidades abastecedoras de agua, disponibilidad de personal capacitado, tramos de la red inadecuados, entre otras, que permiten a las autoridades responsable de la vigilancia, así como la legislación sanitaria vigente, identificar el posible riesgo generado cuantitativa y cualitativamente. (Rojas, et al., 2002). De ahí la importancia de evaluar los riesgos y buscar la forma más segura de mitigarlos.

Dentro de las acciones para realizar la evaluación de la calidad de agua para consumo humano de los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama en Colombia, se encuentra la recopilación de la información, la identificación de los factores de riesgo presentes en el sistema de acueducto, ubicación geográfica de los puntos de muestreo que evidencian riesgos en el agua analizada para el año 2019, mediante la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), con el fin de realizar una evaluación de los resultados emitidos por el laboratorio departamental de salud pública, reconociendo los impactos y vulnerabilidades presentadas y la eficiencia las empresas prestadoras que realizan los procesos de captación, tratamiento y distribución en red en el municipio.

2. JUSTIFICACIÓN. OBJETIVOS

El acceso al agua apta para consumo humano es primordial e indispensable según es establecido a nivel mundial, la Asamblea General de las Naciones Unidas ha señalado que “el acceso seguro a un agua potable salubre y al saneamiento como un derecho humano fundamental para el completo disfrute de la vida y de todos los demás derechos humanos.” (Resolución A/RES/64/292). Por otra parte, la OMS instituye que “El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los

derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud". (Lecca et al.,2013).

La finalidad de la evaluación de riesgos de la calidad de agua para consumo humano es la prevención de enfermedades transmitidas por el consumo de agua no segura, en cuanto a la identificación de los posibles eventos que pueden comprometer la calidad del preciado líquido.

En el documento, se adoptará la normatividad colombiana vigente, con el fin de plasmar de manera oportuna, los riesgos generados en la distribución de agua para consumo humano, realizada por los acueductos rurales y urbano del municipio.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una evaluación de riesgos de la calidad de agua para consumo humano de los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama-Colombia mediante herramientas de sistemas de información geográfica SIG.

Como objetivos secundarios se plantean:

- Identificar los impactos y vulnerabilidades que se presentan en los sistemas de acueducto urbano y rural del municipio de Duitama.
- Ubicar en mapas, los riesgos evidenciados en las muestras de agua no aceptables, analizadas para el municipio de Duitama en el año 2019.
- Evaluar cualitativa y cuantitativamente los impactos y vulnerabilidades encontradas a partir de los resultados de las muestras analizadas para los acueductos del municipio de Duitama en el año 2019.

3. METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio

Localización y generalidades municipio de Duitama

El Municipio de Duitama (Figura1.) ubicado en Colombia, el cual hace parte de la región geográfica Andina y se sitúa en el Altiplano Cundíboyacense, cuenta con una población para el año 2020 de 112.692. Es capital de la provincia del Tundama y hace parte del corredor industrial de Boyacá. Limita por el Norte los municipios de Charalá y Encino, pertenecientes al departamento de Santander; por el Sur con Tibasosa y Paipa; por el Oriente con los Municipios de Santa Rosa de Viterbo y Belén; y por el occidente con el Municipio de Paipa. La Altitud aproximada es de 2.535 m.s.n.m., con una extensión total de 269.78 Km².

Recursos hídricos

Los principales recursos hídricos del municipio de Duitama, incluyen ríos, quebradas, lagunas, lagunillas y humedales, de las cuales algunos acueductos captan el agua para su posterior tratamiento y distribución, dentro de los cuales están inventariados los siguientes:

a. Principales Ríos: El río Chicamocha, se encuentra en el costado sur del municipio, el cual sirve como límite con los municipios de Paipa, Tibasosa y Nobsa, por otra parte, el río Surba, una de las fuentes más importantes del municipio, hace parte del límite occidental de Duitama, así mismo, se encuentra los ríos Chiticuy, Chontal, entre otros.

b. Principales Quebradas: La Quebrada La Zarza y la Quebrada Boyacogua, son unas de las fuentes más importantes del municipio, suministran agua a 5 acueductos rurales y a una parte de la zona norte urbana del municipio. Por otra parte, se encuentra Quebrada de Becerras, de la cual una vereda recibe su nombre, Quebrada La Parroquia, Quebrada Los Tobales, fuente de abastecimiento de la vereda la Florida, Quebrada Honda, la cual hace parte del acueducto con el mismo nombre, Quebrada Los Patos, Quebrada Masorquillal, Quebrada Agua Clara, Quebrada Parrales, Quebrada La Osa, Quebrada El Chochal, Quebrada Micaela, Quebrada Hoya Grande, Quebrada Las Lajas, Quebrada Las Ceras, Quebrada Mastín, Quebrada Matachines, Quebrada Martínez, Quebrada

Pocitos Quebrada la Aroma y Quebrada El Papayo.

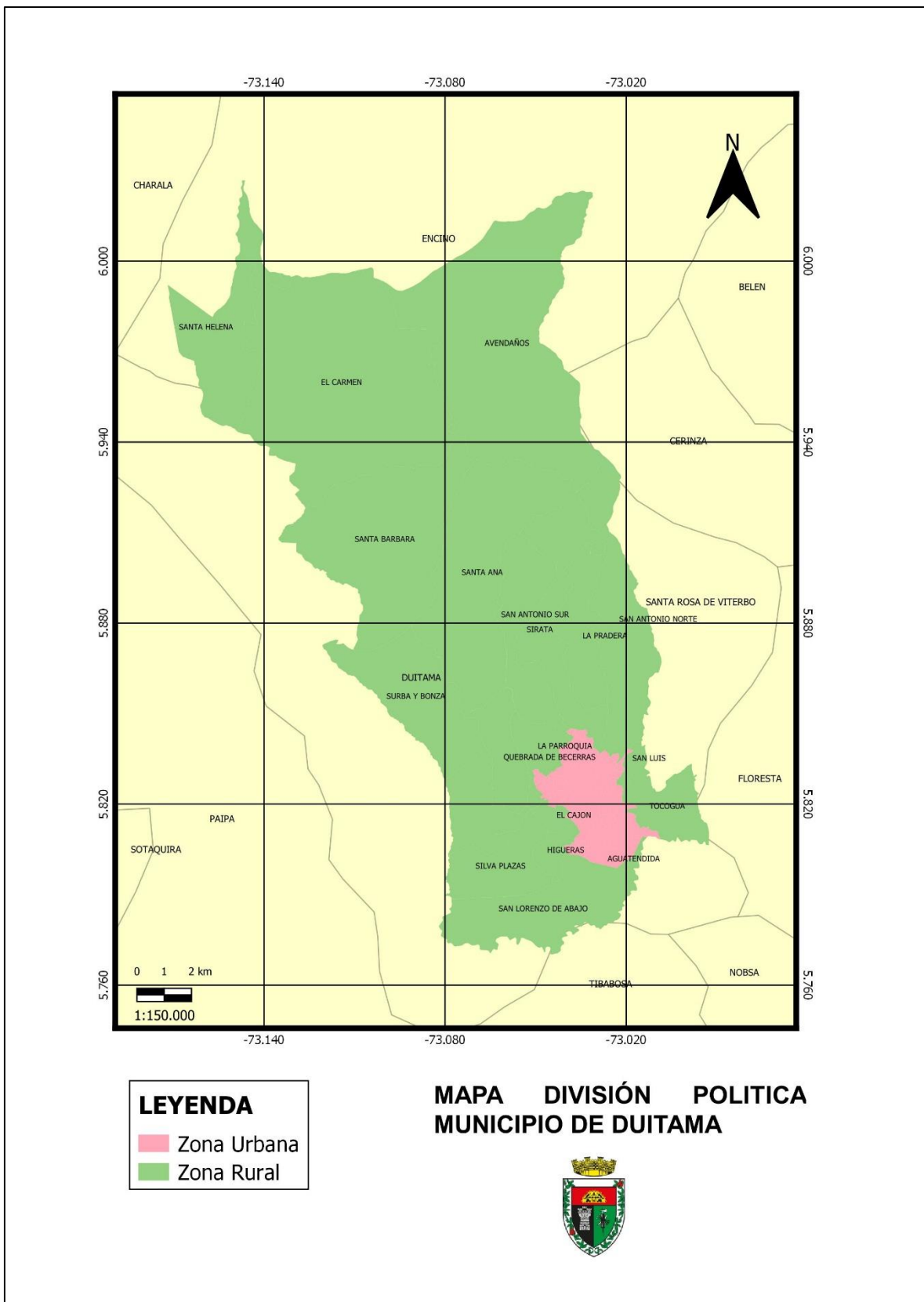
c. Las Rondas de Protección: Las franjas protegidas de las corrientes hídricas del municipio están establecidas así:

Para el río Chicamocha, a partir de la orilla se da 60 metros a lado y lado.

En el río Surba y Chiticuy: se establece una zona de protección de 30 metros a lado y lado de la orilla.

En las fuentes hídricas menores se permite una ronda de protección de 15 metros.

d. Principales Lagunas: La laguna más importante del municipio es Pan de Azúcar, ubicada en el Páramo del mismo nombre, en donde se encuentra el nacimiento del río Surba, otras lagunas son: laguna de Colorado, laguna de Agua Clara, laguna de Cachalú, laguna de Peña Negra, la laguna Negra y lago Mayajuru. Duitama cuenta con otras lagunillas o humedales a menor escala no inventariadas, al momento de realizar el presente trabajo.



Zonas de riesgos Municipio de Duitama

Impactos naturales y antrópicos

Según el Plan Municipal para la Gestión de Riesgo de Desastres del municipio, actualizado en el año 2012, los riesgos presentados en Duitama son asociados a fenómenos que generan algún tipo de impacto, como los de origen geológico, hidrometeorológico, tecnológico, de origen antrópico, riesgos por actividades deportivas, económicas, entre otras; para el cual fueron priorizados los más comunes, como inundaciones, fenómenos de remoción en masa, desabastecimiento (sequia) e incendios forestales.

Escenario de riesgo por inundación

Las inundaciones en el municipio de Duitama históricamente han sido marcadas por la influencia de fenómenos hidrometeorológicos como “la niña”, el cual genera un acrecentamiento significativo en el régimen de lluvias, ocasionando el aumento inesperado de los caudales de los ríos y las quebradas. Cabe resaltar que muchos de los fenómenos referentes al riesgo son generados de manera antrópica por uso y manejo inapropiado del suelo, construcciones en zonas de ladera y áreas inundables, canalización de ríos y quebradas y la disposición inadecuada de residuos en los sumideros de las zonas urbanas.

Según lo evidenciado por el IDEAM, los meses denominados como temporada de lluvias en la región andina colombiana son abril, mayo y octubre.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Duitama (acuerdo 039 de 2009) las áreas urbanas con riesgo de inundación torrencial o aluvial por desbordamiento de cauces naturales se encuentran localizadas en inmediaciones de los ríos y quebradas existentes del municipio. Principalmente las que se ubican en los sectores lindantes al Río Chiticuy, Quebrada La Aroma, Quebrada Ranchería, Quebrada Parroquia, Quebrada Zorros. Además, existen zonas de riesgo de inundación aluvial y encharcamiento específicas en los barrios: La Esperanza, Camilo Torres, la Paz y las Lajas.

Por su parte, el POT también establece que las zonas de mayor riesgo de inundación aluvial, torrencial y encharcamiento en el área rural del municipio se encuentran en: Surba y Bonza (sector La Trinidad), San Lorenzo (por amenaza de desbordamiento del río Surba en su margen oriental), vereda Tocogua en la confluencia con el río Chicamocha y en su recorrido por Duitama.

Escenario de Riesgo por Fenómeno de Remoción en masa

Es el resultado de cambios imprevistos o progresivos en la composición, estructura, hidrología, o vegetación en un terreno en pendiente. En muchos casos, están ligados a riesgos primarios, como en el caso de un terremoto, o por saturación de aguas producto de lluvias intensas. El municipio de Duitama se encuentra en riesgo intermedio en cuanto a movimientos sísmicos, producidos por los cambios naturales del terreno, el desgaste de los suelos, las lluvias torrenciales e incluso por acciones humanas como las prácticas inadecuadas de urbanismo y construcción, la deforestación, el sobre pastoreo, los cultivos en zonas de alta pendiente y la falta de canalización o manejo adecuado de aguas subterráneas y superficiales.

Escenario de Riesgo por Sequías

El municipio de Duitama presenta periodos con ausencia de lluvia o durante los cuales caen menos precipitaciones de lo normal en un área determinada, la época seca comúnmente se da en los meses de diciembre, enero, febrero y algunos días de marzo, situación acentuada con fenómenos hidrometeorológicos como “el niño”. En los meses de enero a marzo de 2020 se presentó sequía en el municipio de Duitama, afectando pastos, cultivos y el desabastecimiento de agua en las fuentes hídricas de los acueductos, generando un periodo de racionamiento del servicio de agua, para lo cual fue necesario realizar la entrega del preciado líquido con carrotanques de agua de la Unidad Departamental de Gestión de Riesgos de la Gobernación de Boyacá en algunas zonas del municipio. En el mes de mayo del mismo año, la quebrada boyacogua, presentó niveles muy bajos en su caudal, debido a la alta demanda de acueductos rurales y la disminución de las precipitaciones en la zona.

Según información suministrada en los boletines mensuales publicados en su página web por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, el promedio mensual de precipitación observada en las estaciones del municipio de Duitama para los meses de enero y febrero fue entre 0-50 mm muy por debajo de lo normal y en marzo entre 50-100 mm, marcando la fuerte temporada de sequía para este periodo.

Fases de la evaluación de riesgos

Para realizar la evaluación de los riesgos de la calidad de agua para consumo humano, a partir de los resultados obtenidos de las muestras tomadas por la Secretaría de Salud de Duitama en el año 2019 y analizadas en el laboratorio departamental de salud pública de Boyacá, se lleva a cabo cuatro fases para el desarrollo de la evaluación.

- Recopilación de la información
- Análisis de la información
- Evaluación e identificación del riesgo
- Aplicación de herramientas de información geográfica (SIG).

3.2. Recopilación de la información

Para la elaboración de la evaluación de riesgos se hizo necesario solicitar información de las entidades que hacen parte de la cadena en la captación, tratamiento y distribución de agua para consumo humano en el municipio de Duitama-Colombia (Figura 1) de acuerdo a sus funciones: Secretaria de Salud Departamental, Laboratorio Departamental de Salud Pública, Corporación Autónoma Regional de Boyacá Corpoboyacá, Oficina Asesora de Planeación Municipal, Secretaría de Infraestructura y Empresas de Servicios Públicos Domiciliarios del municipio.

Los resultados de las muestras analizadas, fueron emitidos por el Laboratorio Departamental de Salud Pública, posterior a la toma por parte de la Secretaría de

Salud de Duitama.

Se contó con los datos de los resultados de las muestras fisicoquímicas y microbiológicas analizadas en el periodo de marzo a diciembre de 2019 de los 16 acueductos vigilados por la Secretaría de Salud de Boyacá, dentro de los cuales se encuentran:

Acueducto Urbano:

- Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Duitama Empoduitama S.A es un acueducto con 39147 suscriptores y cuenta con los siguientes componentes que hacen parte del proceso de tratamiento del agua:

- a) Sistema de captaciones
- b) Aducciones
- c) Desarenadores
- d) Plantas de tratamiento de agua potable
- e) Redes de distribución
- f) Redes domiciliarias.

Por otra parte, los acueductos rurales son de pocos usuarios y en su mayoría, no cuentan con recursos económicos suficientes para el óptimo tratamiento de agua para consumo humano, (tabla1):

Tabla 1. Componentes de tratamiento de los acueductos rurales del municipio de Duitama.

Acueducto	Componentes de tratamiento	Suscriptores
Asociación de Suscriptores del Acueducto San Antonio Norte.	Desarenador	1214
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado de La Trinidad.	Desarenador	1139
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto San Luis.	Planta de Bombeo	471
	Caseta de Desinfección	
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto Vereda La Pradera.	Desarenador	400
	Planta de tratamiento	

	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto de la Vereda Santa Lucia.	Desarenador	340
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación del Acueducto Regional San Gregorio de la Vereda Quebrada Becerras.	Desarenador	304
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto la Jabonosa Puente de Arco de la Vereda La Parroquia.	Desarenador	276
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Junta Administradora del Acueducto de la vereda La Florida.	Desarenador	226
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto del Espinal de la Vereda Siratá.	Desarenador	112
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Empresa Comunitaria de Acueducto y Alcantarillado de Tocogua.	Planta de Bombeo	105
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto Sector Centro de la Vereda Siratá.	Desarenador	105
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación de Suscriptores del Acueducto Cañada Honda de la Vereda San Antonio Sur.	Desarenador	76
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Asociación de Usuarios del Acueducto La Trinidad Sector El Cogollo.	Desarenador	70
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	
Acueducto Siratá Sector carbonera	Desarenador	66
	Caseta de Desinfección	
	Redes de distribución	
Acueducto Silva Plazas.	Desarenador	1
	Planta de tratamiento	
	Redes de distribución	

A partir de los informes de análisis de la calidad de agua para consumo humano, versión 1 código SS-G43-F02, emitidos por el LDSP, se realiza una tabulación mediante el uso de herramientas de hoja de cálculo de Microsoft Excel versión 1997-2003, de los datos correspondientes a cada acueducto y los resultados y diagnósticos obtenidos de las características analizadas. Los diagnósticos tabulados son: Cloro residual libre, Coliformes Totales, Color aparente, E. Coli, pH y Turbiedad. La tabla creada comprende 241 muestras analizadas, de las cuales 150 representan el área urbana y 91 el área rural del municipio de Duitama. La ubicación geográfica de cada acueducto, se establece a partir de las coordenadas de los puntos de muestreo establecidos por la autoridad sanitaria y

cada empresa o persona prestadora rural y urbana.

3.3. Análisis de la información

Se analizó la información obtenida para la evaluación de los riesgos, a partir de las vulnerabilidades presentadas en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano de los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama. Según lo emanado por el Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la resolución 2115 de 2007, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, no podrán sobrepasar los valores máximos aceptables establecidos en dicha norma.

Para esta evaluación se tomó como base las características ya mencionadas anteriormente, y se comparó cada resultado con los parámetros máximos emitidos en dicha resolución (tabla 2).

Tabla 2. Valores aceptables de características fisicoquímicas y microbiológicas de la calidad de agua para consumo humano. Resolución 2115 de 2007.

Característica	Unidades	Valores aceptables
Cloro residual libre	Mg Cl ² /L	$\geq 0,3 \leq 2$
Coliformes Totales	UFC/100ml –NMP/100ML	$\geq 0 \leq 0$
Color Aparente	UPC	$\geq 0 \leq 15$
E.Coli	UFC/100ml –NMP/100ML	$\geq 0 \leq 0$
pH	Unidades de pH	$\geq 6,5 \leq 9$
Turbiedad	UNT	$\geq 0 \leq 2$

Cabe aclarar que el IRCA, califica el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua que es distribuida para consumo humano. Según lo establecido en el artículo 14 de la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, el cálculo del IRCA se realiza utilizando las siguientes formulas:

IRCA POR MUESTRA:

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

IRCA MENSUAL:

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

Sin embargo, para el desarrollo de esta evaluación, se tomará como base el IRCA emitido por la secretaria de Salud de Boyacá y su laboratorio departamental de salud pública.

3.4. Evaluación e identificación del riesgo.

Para la evaluación del riesgo del agua para consumo humano suministrada por los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama, se identifica el riesgo relacionado con las características físicas, químicas y microbiológicas obtenidas de los análisis de la calidad de agua, del periodo comprendido entre marzo y diciembre del año 2019.

Se realiza la tipificación y calificación de los impactos y vulnerabilidades, a partir de los parámetros establecidos por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo Territorial (2008), formulados en la guía técnica de soporte para identificar, reducir y formular planes de contingencia por riesgos sobre la calidad del agua para consumo humano, y con la información compilada, se clasifica el nivel del riesgo por el no cumplimiento de los valores aceptables mencionados en la tabla 2 y se halla el índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano IRCA.

El valor que representa el Índice de riesgo de calidad de agua cuenta con un puntaje de (0) si cumple con los valores aceptables para cada una de las características analizadas y comparadas con la Resolución 2115 de 2007 y cien puntos (100) para el riesgo más alto (Tabla 3.)

Tabla 3. Valores aceptables de características fisicoquímicas y microbiológicas de la calidad de agua para consumo humano.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Consideraciones
80,1 -100	NVIABLE SANITARIAMENTE	Agua no apta para consumo humano, requiere vigilancia máxima y especial.
35,1 – 80	ALTO	Agua no apta para consumo humano, requiere vigilancia especial.
14,1 – 35	MEDIO	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora
5,1 – 14	BAJO	Agua no apta para consumo humano, susceptible al mejoramiento
0 – 5	SIN RIESGO	Agua apta para consumo humano.

3.4.1. Evaluación de los impactos y vulnerabilidades

La evaluación de los impactos puede desarrollarse actividades naturales o antrópicas como vertimientos, actividades industriales, asentamientos humanos; a partir de los siguientes niveles:

- a. Impacto bajo: cumplimiento total de los requerimientos técnicos, sanitarios y ambientales.
- b. Impacto medio: cumplimiento parcial de los requisitos técnicos, sanitarios y ambientales.
- c. Impacto bajo: no cumple con los requisitos técnicos, sanitarios y ambientales.

Por otra parte, la evaluación de vulnerabilidad se puede realizar por variables ambientales (cantidad de la fuente de abasto, continuidad de la fuente de abasto, vulnerabilidad y riesgo relacionados con eventos naturales que ponen en riesgo la calidad del agua.), y por variables sanitarias (grado de tratabilidad y potabilización, estado físico de los componentes del sistema de abastecimiento de agua y calidad de agua (IRCA).), para el desarrollo de esta evaluación se toma esta última, teniendo en cuenta tres niveles:

- a. Vulnerabilidad baja: cumplimiento total de los requerimientos técnicos,

sanitarios y ambientales.

- b. Vulnerabilidad media: cumplimiento parcial de los requisitos técnicos, sanitarios y ambientales
- c. Vulnerabilidad alta: no cumple con los requisitos técnicos, sanitarios y ambientales.

Para la evaluación de los impactos y vulnerabilidades se representan los riesgos en **A** alto, **M** medio y **B** bajo.

MATRIZ DE EVALUACION, CALIFICACION DE RIESGOS

Tabla 4. Matriz de calificación y evaluación.

PROBABILIDAD	Frecuente	1,00	0,38	0,75	1,00
	Probable	0,80	0,30	0,60	0,80
	Ocasional	0,60	0,23	0,45	0,60
	Improbable	0,40	0,15	0,30	0,40
	Remota	0,20	0,08	0,15	0,20
			B	M	A
			0,38	0,75	1
IMPACTO					

3.4.2. Riesgo

El riesgo es estimado como la concurrencia en tiempo y espacio del impacto y la vulnerabilidad, por esta razón, es necesario definir los impactos y las vulnerabilidades para poder determinar el riesgo existente. La función del riesgo (R) se expresa como el producto del impacto (A) y la vulnerabilidad (V):

$$F(R) = A \times V$$

A partir del valor obtenido se evalúa el riesgo teórico, con lo cual se toma como base la matriz de la tabla 4, para obtener las calificaciones de la siguiente manera:

Riesgo bajo de calidad en la agua para consumo humano: Se estima a partir del rango de 0,00 y 0,38 el riesgo se encuentra en un nivel que puede ser aceptado.

Riesgo moderado en la calidad de agua para consumo humano: Se da en un rango de 0,39 a 0,75 su impacto es medio.

Riesgo alto en la calidad de agua para consumo Humano - urgencia de calidad de agua: Riesgo inaceptable, agua no apta para consumo humano, se establece en el rango de 0,76 a 1, es necesario realizar un plan operacional de emergencia.

3.5. Aplicación de herramientas de información geográfica (SIG).

La información obtenida a partir de los resultados de las muestras de agua para consumo humano, analizadas en el año 2019 de los acueductos rurales y urbano del municipio de Duitama, se evaluaron mediante la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), desde de la herramienta QGIS, versión 3,14 y a partir de archivos .shp, suministrados por la Alcaldía Municipal de Duitama, para realizar los mapas correspondientes a los aspectos más relevantes de la calidad de agua, según las ubicaciones de los acueductos.

Para la elaboración de los mapas, se tomó las coordenadas geográficas de los puntos en los cuales se realiza la toma de las muestras de agua para consumo humano y con los resultados se filtró la información en cuanto a valores de turbiedad, Color, Cloro residual libre, presencia de microorganismos como E.Coli y Coliformes Totales, utilizando códigos de colores establecidos en la tabla 3, según los hallazgos reportados por el LDSP, identificando así las zonas con mayor riesgo en la calidad de agua. Así mismo, se realiza un mapa final, con los valores del IRCA municipal anual 2019 de cada acueducto, según el código de colores de la matriz (tabla 4). Para culminar, se realiza una discusión de las normas internacionales (España y México), en cuanto a los valores aceptables de los parámetros analizados.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de la información

A partir de los informes de índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) 2019, emitidos por la Secretaría de Salud de Boyacá y su Laboratorio Departamental de salud pública, se realizó un análisis comparativo de los meses en los cuales se tomó las muestras de agua en los puntos establecidos por la autoridad sanitaria municipal, los cuales se presentan a continuación:

4.1.1. Muestras urbanas y rurales

En las siguientes tablas se expone una representación de los datos llevados a la herramienta Excel, en cuanto a las coordenadas de los sitios de muestreo, las características más significativas y el IRCA emitido. En total se registraron 150 muestras urbanas y 91 rurales, para el año 2019. A partir de dichas coordenadas se realiza el primer mapa en donde se evidencia cada uno de los puntos monitoreados.

Tabla 5. Datos muestras de agua analizadas para la zona urbana municipio de Duitama año 2019.

FECHA	Sector	Y	X	IRCA	Fisicoquímicos				Microbiológicos	
					Turbiedad	Color	Cloro residual	pH	Coliformes Totales	E-COLI
05/03/2019	1007	5°49'37.4"N	73°02'40.5"W	0	0,1	5	1,0	7,5	0	0
23/04/2019	1007	5°49'37.4"N	73°02'40.5"W	0	0,5	5	1,1	7,2	0	0
06/05/2019	1010	5°50'10.1"N	73°02'27.9"W	0	0,1	5	1,4	7,3	0	0
26/06/2019	1001	5°49'49.0"N	73°02'39.4"W	0	0,4	5	1,4	8,0	0	0
02/07/2019	1007	5°49'37.4"N	73°02'40.5"W	0	0,15	5	1,2	7,2	0	0
20/08/2019	1005	5°49'31.7"N	73°02'43.7"W	0			1,3	7,4	0	0
03/09/2019	1007	5°49'37.4"N	73°02'40.5"W	0	0,2	5	1,3	8,6	0	0
01/10/2019	1005	5°49'31.7"N	73°02'43.7"W	0	0,5	5	1,6	7,4	0	0
12/11/2019	2005	5°48'37.8"N	73°01'25.7"W	0			1,3	7,4	0	0
02/12/2019	2008	5°48'36.4"N	73°01'42.6"W	0	0,4	5	1,6	7,4	0	0

Tabla 6. Datos muestras de agua analizadas para la zona rural municipio de Duitama año 2019.

ZONA	FECHA	Y	X	IRCA	Fisicoquímicos				Microbiológicos	
					Turbiedad	color	Cloro residual	pH	COLIFORMES TOTALES	E-COLI
Florida	12/03/2019	5°52'00.4"N	73°00'48.2"W	66,3	1	15	0	6,5	576	17
Pradera	12/03/2019	5°51'18.2"N	73°02'11.5"W	0,0	0,8	5	0,6	7,5	0	0
Carboneras	12/03/2019	5°51'07.3"N	73°03'03.8"W	75,3	4,7	50	0,3	6,5	12	1
Parroquia	12/03/2019	5°50'20.4"N	73°02'43.8"W	0,0	0,3	15	0,4	7,5	0	0
Q Becerras	12/03/2019	5°50'00.1"N	73°03'10.7"W	0,0	0,35	15	0,3	7,3	0	0
San Antonio Norte	26/03/2019	5°50'28.5"N	73°01'17.1"W	3,6	1,4	10	1	6,8	0	0
San Antonio Sur	26/03/2019	5°51'08.7"N	73°02'22.4"W	18,1	1,3	10	0,6	7,6	0	0
Espinal	26/03/2019	5°51'09.3"N	73°02'35.1"W	30,7	3,8	30	1,8	7	0	0
Siratá Centro	26/03/2019	5°50'54.2"N	73°02'29.9"W	66,3	1,6	15	0	6,8	601	3
Silva Plazas	26/03/2019	5°48'33.8"N	73°03'52.2"W	91,6	3,8	30	0	7	2420	120

Tocogua	08/04/2019	5°49'06.6"N	73°00'46.0"W	38,0	0,05	5	0	7,4	225	0
San Luis	8/04/2019	5°50'16.9"N	73°01'01.9"W	0,0	0,3	5	1,2	6,5	0	0
Santa Lucia	8/04/2019	5°52'09.8"N	73°01'39.2"W	0,0	1,2	15	1	7,4	0	0
Trinidad	8/04/2019	5°49'31.8"N	73°04'40.5"W	19,0	2,3	10	0,8	7,2	0	0
Trinidad Cogollo	8/04/2019	5°50'15.9"N	73°05'05.3"W	0,0	1,2	5	2	7,4	0	0

PUNTOS DE MUESTREO CALIDAD DE AGUA

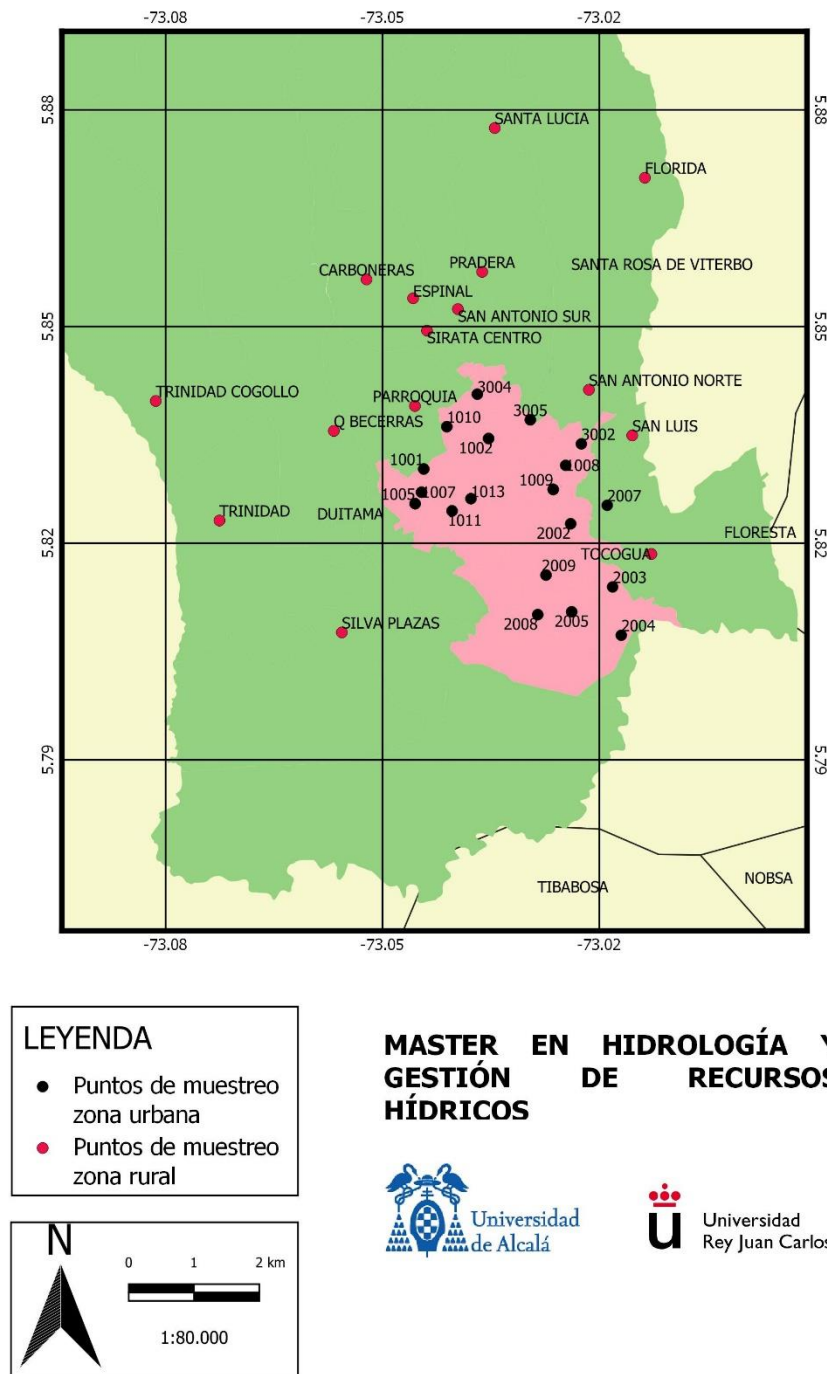


Figura 2. Mapa de distribución espacial de los puntos de muestreo de agua para consumo humano, municipio de Duitama

Los puntos de muestreo urbanos, se encuentran codificados por barrios, de

acuerdo a lo establecido por la Autoridad Sanitaria y la Empresa de Servicios Públicos.

El número total de fuentes monitoreadas en la toma de muestras de agua para consumo humano es de 14, de las cuales se abastecen 16 acueductos tanto rurales como el urbano.

4.2. Análisis de resultados

Los resultados de las muestras de agua para consumo humano en red, pueden ser observados en las siguientes gráficas de barras en donde se evidencia la fluctuación de los valores de turbiedad, color, Coliformes totales y E. Coli para los acueductos municipales.

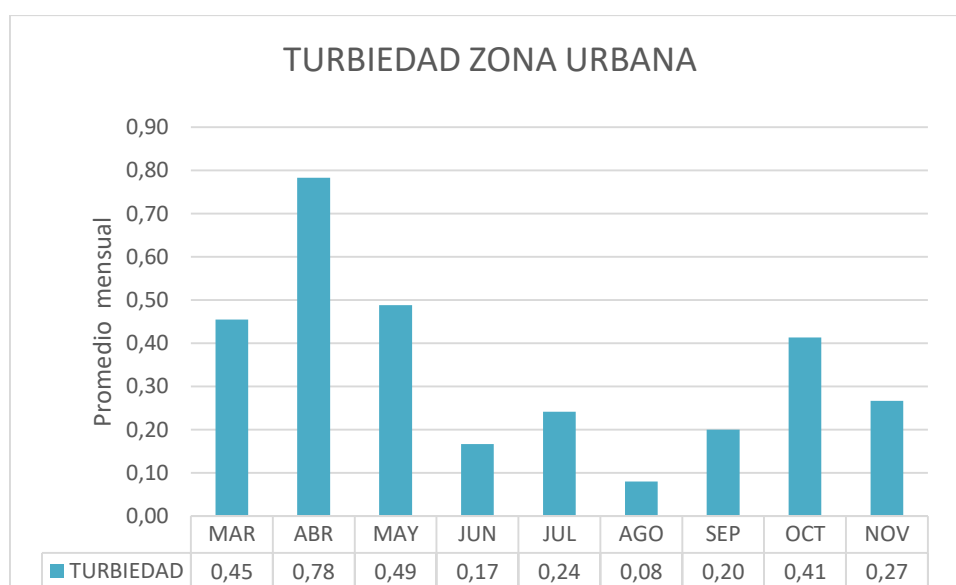


Figura 3. Gráfico valores de turbiedad zona urbana 2019.

En la gráfica 3 se evidencia que en los meses de marzo, abril, mayo y octubre la turbiedad aumentó, época de lluvias intensas en la región andina, de la cual hace parte el municipio de Duitama. El promedio mensual de color aparente también aumenta en los meses de marzo a mayo, los demás meses permanecen constantes (Figura 4.).

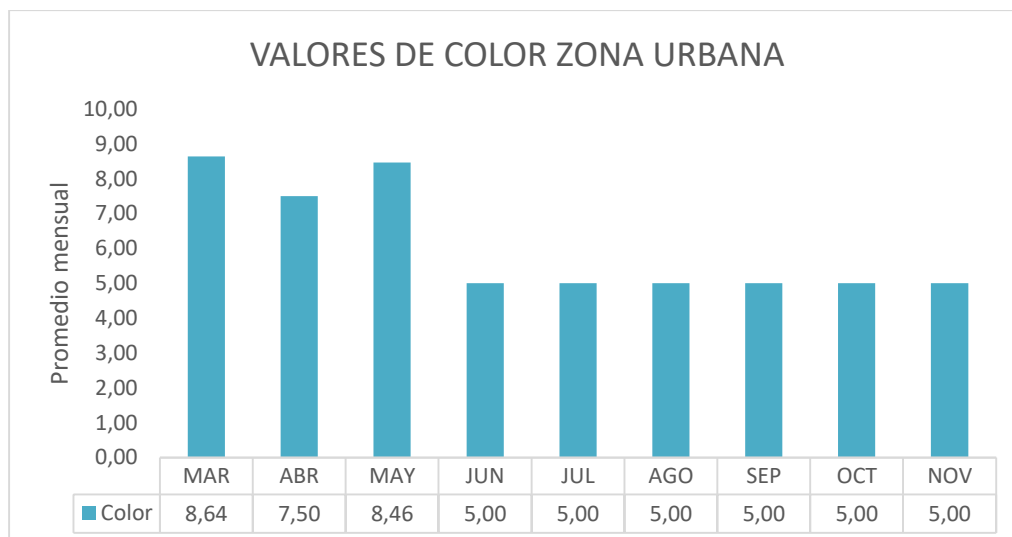


Figura 4. Gráfico valores de color aparente zona urbana 2019.

Para la zona urbana no es significativo realizar la comparación de Coliformes totales y E. Coli, ya que se generan durante todo el año valores de cero, SIN RIESGO.

En cuanto a la zona rural, vale la pena comparar los valores promedios de cada acueducto, con el fin de identificar los posibles riesgos de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de los valores admisibles en las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

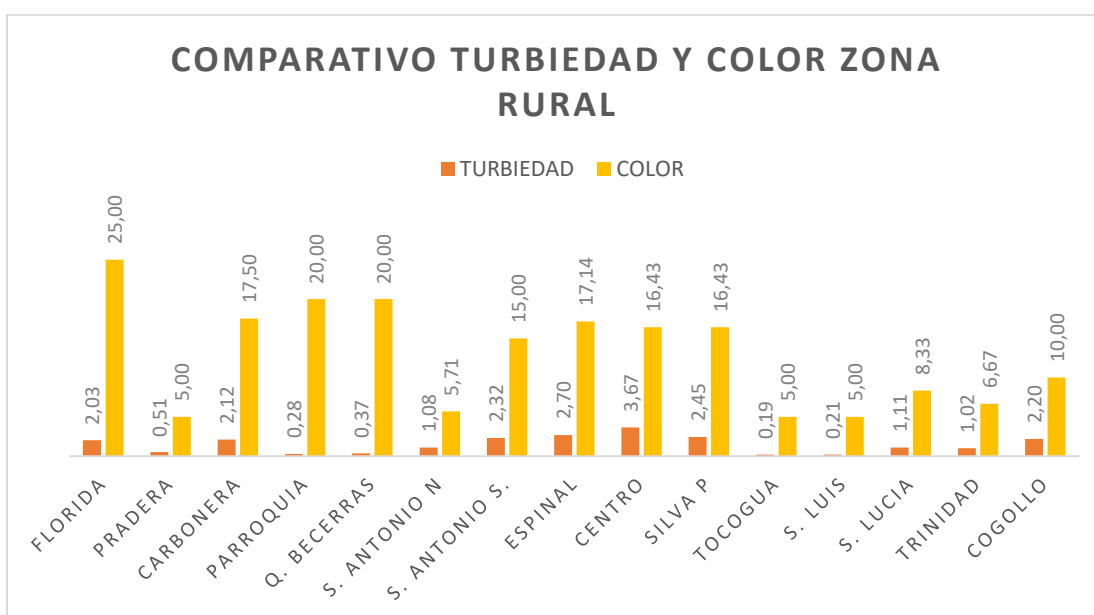


Figura 5. Gráfico valores de color aparente y turbiedad zona rural 2019.

La turbiedad y el color (Figura 5) en algunos acueductos de la zona rural del municipio de Duitama, presentan valores no aceptables según lo establecido en la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Superan los valores admisibles en dos parámetros, los acueductos de las veredas La Florida, Carbonera, Siratá Espinal, Siratá Centro y Silva Plazas; por otro lado, para solo uno de los parámetros San Antonio Sur, Trinidad Cogollo, Parroquia y Quebrada de Becerras. Cabe recordar que solo el acueducto de la vereda de Tocogua no realiza tratamiento fisicoquímico ni microbiológico, sin embargo, a nivel fisicoquímico no presenta ningún tipo de riesgo.

Para el caso particular, el mes de octubre el acueducto de la vereda la florida, presenta el valor más alto en cuanto a turbiedad no aceptable con 5,04 UNT (unidad nefelométrica de turbidez) y 40 UPC (Unidades de Platino Cobalto), Siratá espinal de 3,2 UNT y 10 UPC, Siratá centro 3,4 UNT y 10UPC, y Silva Plazas con 3,6 UNT y 20 UPC; convirtiéndose así en el mes con más parámetros fisicoquímicos no aceptables.

Otro parámetro fisicoquímico interesante de analizar es el de cloro residual libre comparado con las unidades formadoras de colonia de E. Coli, en la red de distribución en la zona rural, el cual se presenta en la figura 6.

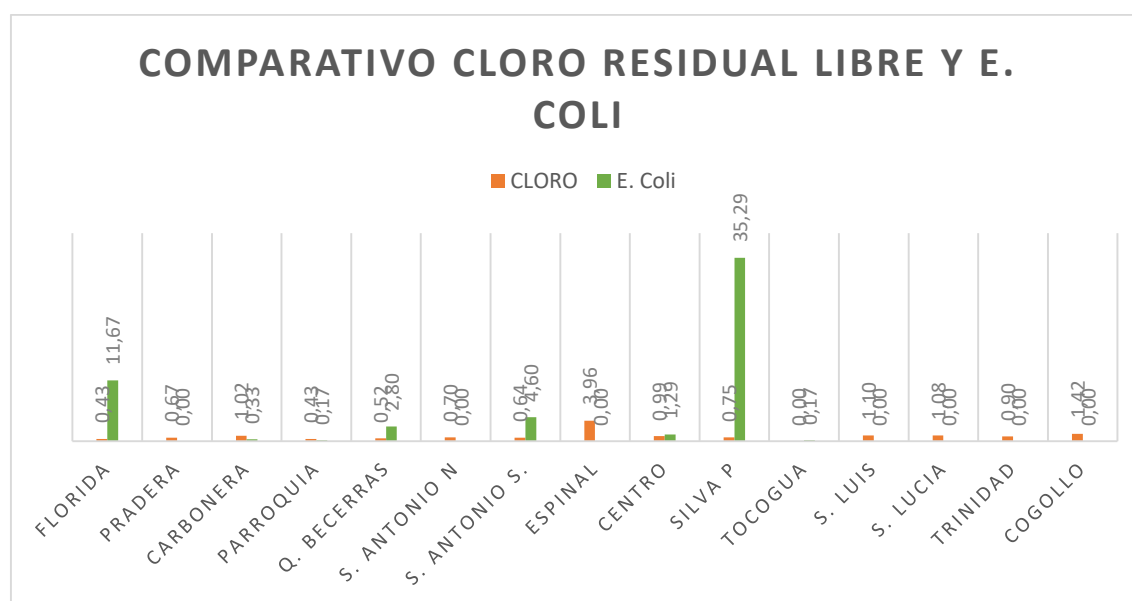


Figura 6. Gráfico valores de cloro residual libre y E.Coli en la zona rural 2019.

Como se puede evidenciar en la figura 6, el acueducto Tocogua presenta un valor de cloro residual libre igual a cero, debido a que no realiza desinfección en red, sin embargo, la cantidad de Coliformes presentes en el agua en promedio es de 0,17 UFC, por otra parte, los acueductos Silva Plazas y Florida presentan los valores más altos en unidades formadoras de colonia de E. Coli, y valores muy bajos en el promedio de cloro residual libre. Es importante señalar que en los dos acueductos 2 de cada 5 muestras de agua analizadas presentaron valores de 0,0 en Cloro residual libre, a pesar de contar con planta de tratamiento.

4.3. Identificación y evaluación del riesgo

En cuanto al Índice de Riesgo de la Calidad de agua para consumo humano (IRCA Municipal), se observa la siguiente tendencia.

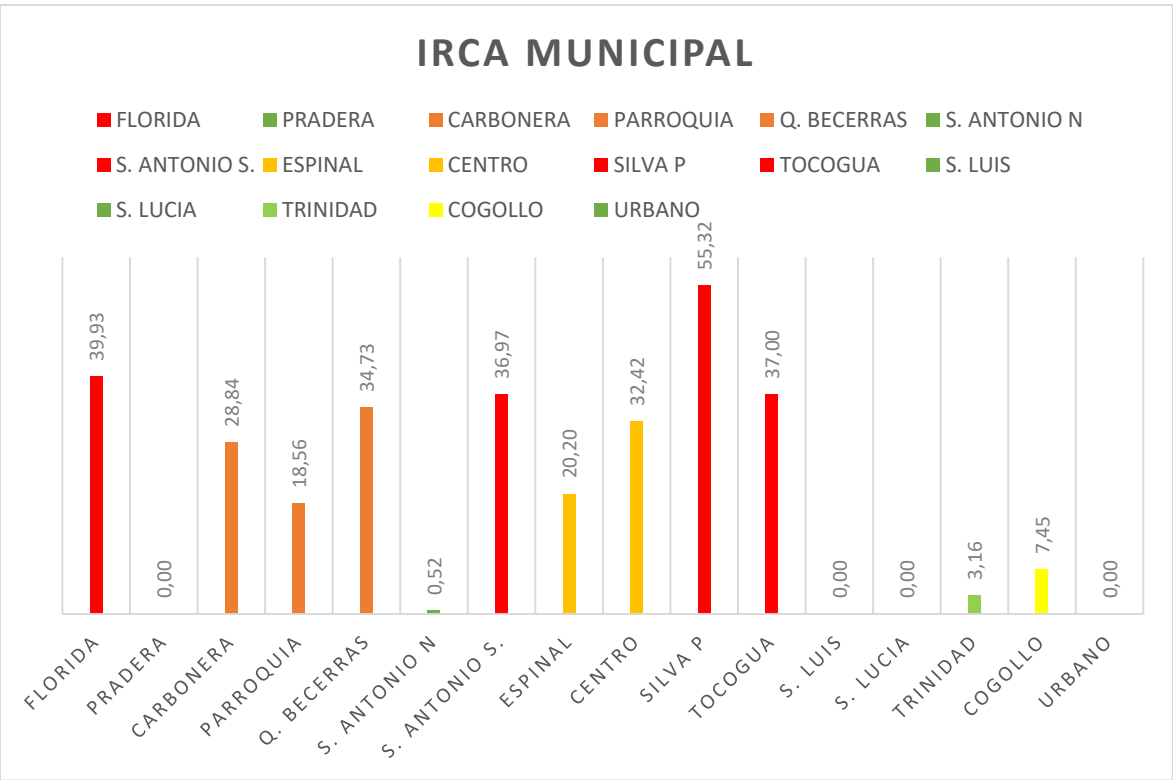


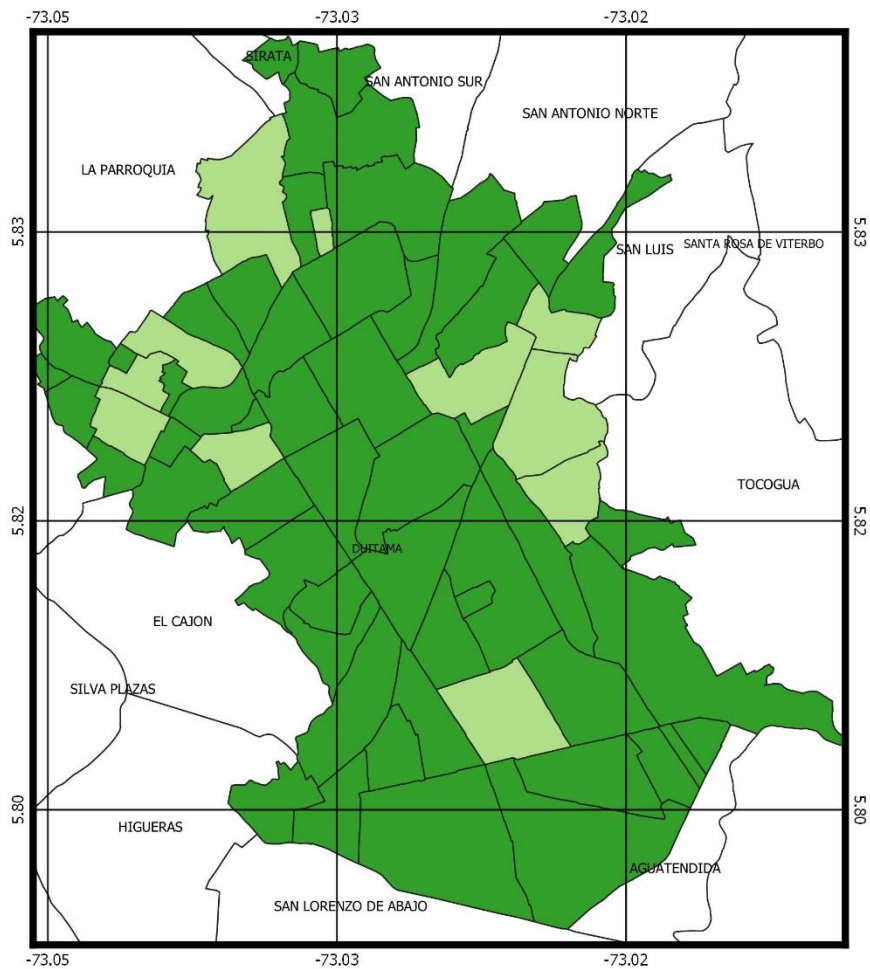
Figura 7. Gráfico valores de IRCA Municipal 2019.

En la figura 7 se observa que los acueductos Empoduitama (Urbano), Trinidad, San Antonio Norte, Pradera, San Luis y Santa Lucia presentan IRCA Sin Riesgo, agua apta para consumo humano, el acueducto Trinidad Cogollo presenta un

IRCA Riesgo bajo, Siratá Espinal, Siratá Centro y Siratá Carboneras IRCA Riesgo medio y por ultimo Florida, San Antonio Sur, Silva Plazas y Tocogua presenta valores mayores a 35, IRCA Riesgo Alto, agua no apta para consumo humano. Ningún acueducto es inviable sanitariamente.

A partir del código de colores, se realiza dos mapas representativos del índice de calidad de agua para consumo humano a nivel urbano y municipal.

IRCA URBANO AÑO 2019



LEYENDA

IRCA mayor a 0

IRCA igual a 0

MASTER EN HIDROLOGIA Y
GESTIÓN DE LOS
RECURSOS HIDRICOS

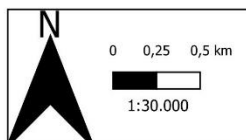


Figura 8. Mapa IRCA urbano municipio de Duitama 2019.

En el área urbana, 10 barrios presentaron valores del IRCA entre 3 y 4, según

la clasificación es IRCA Sin Riesgo, agua apta para consumo urbano. El promedio ponderado del IRCA 2019 para la zona urbana, fue de 0,29, Agua apta para consumo humano.

En el mapa (figura 8) se puede observar, que las zonas donde está el color verde claro, presentaron valores no aceptables en cuanto a aluminio en algunos meses del año, lo que puede ser derivado de una inadecuada dosificación de coagulante (sulfato de aluminio).

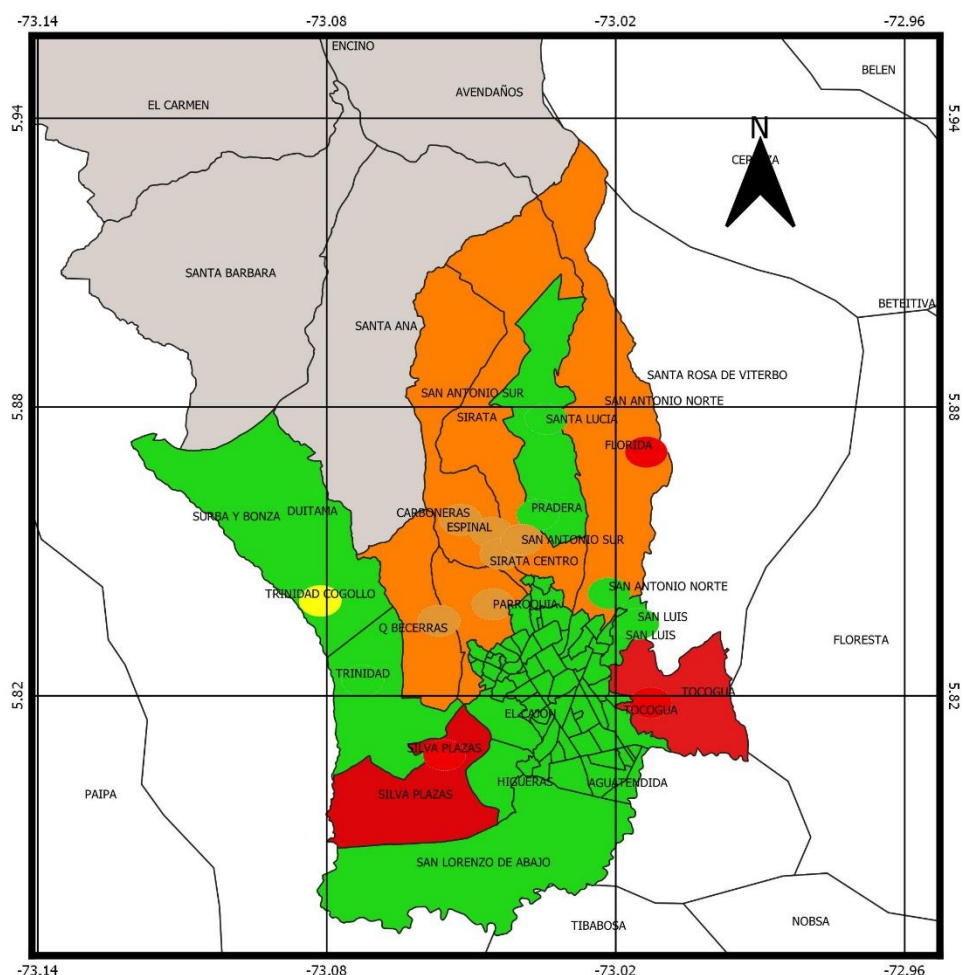
En cuanto al IRCA Rural, los acueductos que presentan Riesgo Alto y Riesgo medio, generan valores que afectan el IRCA Municipal, el cual registró un promedio ponderado total de 8,48%. Cabe aclarar que, en los valores del IRCA Municipal va incluido el IRCA urbano y el IRCA rural de las muestras tomadas en el periodo de marzo a diciembre.

En la figura 9 se puede observar la distribución de la calidad de agua para consumo humano en el municipio de Duitama, evidenciando con color rojo los acueductos Silva Plazas y Tocogua. En cuanto a La Florida, que hace parte de la vereda de San Antonio Norte, se refleja un punto de color rojo sobre el polígono de dicha zona, puesto que, La Florida presenta IRCA Riesgo Alto.

La zona de San Antonio Norte se demarca de color naranja, Riesgo medio, correspondiente al producto del promedio ponderado entre el IRCA de San Antonio Norte y La Florida.

Las veredas Santa Helena, El Carmen, Avendaños, Santa Ana y Santa Bárbara, no están incluidas en el plan de muestreo de la Secretaria de Salud de Boyacá, por tanto, esos datos no se encuentran reportados, sin embargo, se realizan algunos monitoreos eventuales por parte de la autoridad sanitaria municipal.

IRCA MUNICIPAL 2019



LEYENDA

- SIN RIESGO
- RIESGO BAJO
- RIESGO MEDIO
- RIESGO ALTO

MASTER EN HIDROLOGIA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS



0 2,5 5 km
1:120.000

Figura 9. Mapa IRCA municipal de Duitama 2019.

El mapa se realizó a partir de las siguientes zonas:

Tabla 7. Valores de IRCA por zona rural del municipio de Duitama

zona	Acueductos	IRCA por acueducto	IRCA por zona para la representación en el mapa
San Antonio Norte	La Florida	39,59	20,05 Riesgo Medio
	San Antonio Norte	0,52	
Trinidad	Trinidad Cogollo	7,45	5,0 Sin Riesgo
	Trinidad	2,71	
Pradera	Santa Lucia	0,0	0 Sin Riesgo
	Pradera	0,0	
Siratá	Siratá Espinal	20,20	27,1 Riesgo Medio
	Siratá Centro	32,42	
	Siratá Carboneras	28,84	
Silva Plazas	Silva Plazas	58,59 Riesgo Alto	
San Luis	San Luis	0,0 Sin Riesgo	
Parroquia	Parroquia	18,56 Riesgo Medio	
San Antonio Sur	Cañada Honda	33,86 Riesgo Medio	
Tocogua	Ecotocogua	37,04 Riesgo Alto	
Quebrada Becerras	Quebrada Becerras	34,73 Riesgo Medio	

4.4. Evaluación de impactos y vulnerabilidades

4.4.1. Zona urbana

Para la evaluación de impactos y vulnerabilidades se toma información aportada por la Secretaría de Salud de Duitama, en las inspecciones a las fuentes de abastecimiento de los acueductos rurales y urbano del municipio.

Tabla 8. Matriz de Identificación de impactos en la calidad de agua para consumo humano Área urbana Municipio de Duitama

Impactos	A	M	B	Probabilidad
a. La fuente de abastecimiento no se encuentra aislada, lo cual puede generar contaminación antrópica.			X	Ocasional (0,23)
b. Se genera aumento de turbiedad del agua por aporte de sedimentos en épocas de lluvia		X		Probable (0,6)
c. Se realiza vertimientos directos a las fuentes de abastecimiento que generan alta carga microbiana			X	Ocasional (0,23)
d. Se presenta reducción del abastecimiento de agua en época de verano	X			Probable (0,80)
Valor promedio				0,46

Tabla 9. Matriz de Identificación de vulnerabilidades en la calidad de agua para consumo humano
Área urbana Municipio de Duitama

Vulnerabilidades	A	M	B	Probabilidad
1. El acueducto no cuenta con capacidad operativa y económica para realizar tratamiento de agua apta para consumo humano			X	Remota (0,08)
2. El índice de riesgo de la calidad de agua ha tenido valores inviables sanitariamente o de alto riesgo			X	Remota (0,08)
3. El acueducto no tiene operarios capacitados en tratamiento de agua para consumo humano			X	Probable (0,30)
4. El acueducto no realiza análisis diarios de la calidad del agua que suministra			X	Improbable (0,15)
5. La fuente de abastecimiento presenta metales pesados o residuos de algún vertimiento industrial			X	Probable (0,30)
Valor promedio				0,18

Evaluación cualitativa y cuantitativa de impactos y vulnerabilidades

Para la evaluación cualitativa y cuantitativa de los impactos y vulnerabilidades se realiza una serie de preguntas básicas, en el caso de los impactos, enfocados a la fuente de abastecimiento y para las vulnerabilidades en la planta de tratamiento o características del agua tratada y se compara con la matriz de calificación del riesgo tabla 4, dando la valoración pertinente de acuerdo con la información suministrada por la autoridad sanitaria.

Valoración de impactos

a	b	c	d	Alto	Medio	Bajo	Calif. Cuantitativa
B	M	B	A	1	1	2	0,46
				25%	25%	50%	

Valoración de vulnerabilidades

1	2	3	4	5	Alto	Medio	Bajo	Calif. Cuantitativa
B	B	B	B	B	0	0	5	0,18
					0%	0%	100%	

$$F(R) = A \times V$$

$$\text{Riesgo} = 0,46 \times 0,18 = 0,0828$$

De acuerdo con el resultado obtenido, en cuanto a la función de riesgo (impacto por vulnerabilidad), la zona urbana del municipio de Duitama, presenta RIESGO BAJO, en la evaluación cuantitativa, de las características de las fuentes de abastecimiento y el manejo adecuado del tratamiento del agua para consumo humano.

4.4.2. Zona Rural

Para el área rural del municipio de Duitama, se realizó una evaluación de riesgo por los 15 acueductos teniendo en cuenta que cada uno de estos presenta un puntaje que fue promediado para la valoración final.

Tabla 8. Matriz de Identificación de impactos en la calidad de agua para consumo humano Área rural Municipio de Duitama

Impactos	A	M	B	Probabilidad
e. La fuente de abastecimiento no se encuentra aislada, lo cual puede generar contaminación antrópica.	X			Probable (0,80)
f. Se genera aumento de turbiedad del agua por aporte de sedimentos en épocas de lluvia		X		Probable (0,60)
g. Se realiza vertimientos directos a las fuentes de abastecimiento que generan alta carga microbiana		X		Probable (0,60)
h. Se presenta reducción del abastecimiento de agua en época de verano	X			Ocasional (0,60)
Valor promedio				0,65

Tabla 9. Matriz de Identificación de vulnerabilidades en la calidad de agua para consumo humano Área rural Municipio de Duitama

Vulnerabilidades	A	M	B	Probabilidad
6. El acueducto no cuenta con capacidad operativa y económica para realizar tratamiento de agua apta para consumo humano	X			Ocasional (0,60)
7. El índice de riesgo de la calidad de agua ha tenido valores inviables sanitariamente o de alto riesgo	X			Probable (0,80)
8. El acueducto no tiene operarios capacitados en tratamiento de agua para consumo humano		X		Probable (0,60)
9. El acueducto no realiza análisis básicos diarios de la calidad del agua que suministra	X			Probable (0,80)
10. La fuente de abastecimiento presenta metales pesados o residuos de algún vertimiento industrial			X	Probable (0,30)
Valor promedio				0,62

Evaluación cualitativa y cuantitativa de impactos vulnerabilidades

Valoración de impactos

e	f	g	h	Alto	Medio	Bajo	Calif. Cuantitativa
A	M	M	A	2	2	0	0,65
				50%	50%	0%	

Valoración de vulnerabilidades

6	7	8	9	10	Alto	Medio	Bajo	Calif. Cuantitativa
A	A	M	A	B	3	1	1	0,62
					60%	20%	20%	

$$F(R) = A \times V$$

$$\text{Riesgo} = 0,65 \times 0,62 = 0,40$$

De acuerdo con el resultado obtenido, en cuanto a la función de riesgo (impacto por vulnerabilidad), la zona rural del municipio de Duitama, presenta RIESGO MEDIO, en la evaluación cuantitativa, de las características de las fuentes de abastecimiento y el tratamiento del agua para consumo humano.

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de resultados de las muestras de agua para consumo humano

Los análisis realizados en los acueductos del municipio de Duitama, hacen parte de un plan de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano, complementado con inspecciones sanitarias a cada una de las plantas de tratamiento o casetas de desinfección, liderado por la Secretaría de Salud de Duitama.

Los parámetros que se analizaron en cada muestra, incluyen aluminio, hierro, manganeso, dureza, alcalinidad entre otros, que para el desarrollo de este

documento no se tuvieron en cuenta, ya que en su gran mayoría cumplen con los valores de referencia establecidos en la resolución 2115 de 2007.

Los acueductos rurales, presentan menor cantidad de muestras con respecto al área urbana debido a la tabla de frecuencia y número de muestras de vigilancia de la calidad física, química y microbiológica del agua para consumo humano, establecida en la resolución 2115 de 2007, donde se aporta que cantidad de muestras deben ser tomadas y analizadas con respecto a la población atendida por la persona prestadora. Para el caso del acueducto urbano, con una población atendida de más de 100.000 habitantes, debe haber mínimo 6 muestras mensuales, para determinadas características fisicoquímicas y 10 muestras mensuales para los parámetros microbiológicos.

Para las empresas prestadoras del área rural, se hace necesario la toma de muestras bimensuales con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Los acueductos deben garantizar agua apta para consumo humano, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en cuanto a características fisicoquímicas y microbiológicas.

Para el acueducto urbano, como ya fue mencionado en los resultados, la turbiedad y el color aumentan en determinados meses del año, esto debido a la escorrentía en época de lluvia que contribuye al arrastre de sedimentos hacia las fuentes de abastecimiento causando el incremento en estos parámetros, el color como propiedad organoléptica del agua dada por la presencia de material disuelto, suspendido o coloidal, que también se genera por arrastre de sedimentos o presencia de hierro o manganeso en el agua. A pesar de que en los resultados presentados no se representa los datos de hierro o manganeso, estas características se encuentran dentro de los valores aceptables según la normatividad vigente colombiana.

Si bien, en los meses de marzo, abril mayo y octubre, los valores son un poco más altos en comparación a los demás meses del año, ninguno sobrepasa el

valor máximo aceptable (2,0 UNT para turbiedad y 15 UPC para color aparente) establecido en la resolución 2115 de 2007, del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En la zona rural se da en mayor proporción la tendencia de los valores no aceptables en cuanto a turbiedad y color en el mes de octubre, los demás meses presentan valores altos aleatorios, indicando que el tratamiento realizado por las empresas prestadoras rurales no es adecuado ni constante.

Se evidencia en la figura 5, que varios acueductos rurales presentan valores de color superiores a 15 UPC, a pesar de que dichos acueductos cuentan con planta de tratamiento de agua, esto puede deberse a la presencia de hierro en sus características, que no se logra eliminar con los procesos de filtración y desinfección convencionales que estos poseen.

El acueducto La Florida, tiene una planta de tratamiento compacta que realiza coagulación/floculación, decantación, filtración y desinfección, pero a pesar de ello no cuentan con la capacidad económica-operativa para realizar los procesos necesarios diarios para un óptimo tratamiento.

El departamento de Boyacá, donde se ubica el municipio de Duitama, es una de las regiones que cuenta con mayor incidencia de enfermedades diarreicas agudas, según lo reportado por el Instituto Nacional de Salud, en su documento “Relación de la calidad del agua para consumo humano con la incidencia de enfermedad diarreica aguda en Colombia 2017”, lo cual coincide con los reportes de IRCA de Riesgo Alto e inviable sanitariamente en las zonas rurales del departamento. Razón por la cual la desinfección es uno de los procesos más importantes en el tratamiento y abastecimiento del agua para consumo humano, la cual busca eliminar los microorganismos patógenos causantes de dichas enfermedades transmitidas por el consumo del agua.

En Colombia, es común que se realice desinfección química con hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio o cloro gaseoso, razón por la cual, el cloro residual libre en la red, es uno de los parámetros químicos a cumplir según lo establecido

en la resolución 2115 de 2007. Si el agua para consumo humano, no tiene presencia de cloro residual libre mínimo de 0,3 mg/litro en red, inmediatamente recibe un puntaje que puede generar un riesgo medio en la calidad de dicha agua.

La mayoría de los resultados de agua para consumo humano con cloro residual libre entre 0 y 0,3mg/L, tienen presencia de Coliformes totales o en el peor de los casos E.Coli que representa contaminación fecal en el agua.

En los datos observados de los acueductos rurales, evidencian que los IRCA de las empresas prestadoras que tuvieron uno o más resultados con riesgo alto, fueron generados por ausencia de cloro y/o presencia de microorganismos. Cabe resaltar, que el acueducto de la vereda de Tocogua, a pesar de no contar con ningún proceso de desinfección, en tan solo una muestra se reportó Unidades formadoras de colonia de E.Coli, incluso en dos muestras más no se evidenció la presencia de microorganismos. Esta agua es bombeada de un pozo profundo sin aislamiento cerca de una carretera.

En cuanto a la evaluación del riesgo urbano, se evidencia que cumple con la mayoría de las características analizadas por el Laboratorio de Salud Pública de Boyacá, a excepción de algunos parámetros de aluminio con valores no aceptables en menos del 10% de las muestras.

El IRCA municipal, es el promedio ponderado del IRCA urbano y el IRCA rural, presentando un valor de 8,48% Riesgo bajo. Cada empresa prestadora representa un valor del índice de riesgo, independientemente que se ubique en una misma vereda o zona.

Vale la pena aclarar, que al momento de realizar el mapa del IRCA Municipal, se toma cada una de las veredas del municipio vigiladas, y en aquellas que hay dos o más empresas de acueductos, se realiza el promedio ponderado para generar el valor del riesgo.

5.2. Evaluación de impactos y vulnerabilidades

Para la elaboración de la matriz de riesgo, se solicitó información a la Secretaría de Salud de Duitama, de las fuentes de abastecimiento y las plantas de tratamiento de las empresas prestadoras del servicio y a partir de los datos obtenidos se realiza una pequeña serie de preguntas representativas, en las cuales se identifica los impactos y vulnerabilidades más comunes de los acueductos, reuniéndolos en dos zonas representativas, zona urbana (Empresa de servicios públicos de Duitama Empoduitama) y zona rural (empresas o personas prestadoras del servicio de las zonas rurales).

El fin de realizar la identificación y evaluación de los riesgos por medio de una matriz de probabilidades, es comparar los resultados de los análisis al agua para consumo humano realizadas en cada acueducto durante el año 2019, con las posibles falencias presentadas en las empresas prestadoras.

Para la evaluación del riesgo a partir de la matriz de identificación de impactos en la calidad de agua para consumo humano, se estableció 4 preguntas básicas relacionadas con las fuentes de abastecimiento y las actividades que pudiesen afectar la calidad del agua, por otra parte, la matriz de vulnerabilidades correspondió a la operación y manejo de las PTAP's, y el perjuicio que una incorrecta actuación traería consigo.

La matriz realizada para la zona urbana, evidencia impacto alto probable, en cuanto a la reducción del abastecimiento de agua en época de verano, según como ya se había contemplado en la metodología y los datos proporcionados por el IDEAM, es común para el acueducto mostrar escasez de agua durante los primeros meses del año, debido a la baja frecuencia en la lluvia presentada. Asimismo, el leve aumento de turbiedad en época de lluvia, genera que el impacto evaluado para la zona urbana sea medio, según lo evidenciado en los resultados de las muestras de agua emitidos por el Laboratorio Departamental de Salud Pública, hay un leve aumento de este parámetro físico en tres meses del año relacionados con este evento.

Por otra parte, en la matriz de identificación de vulnerabilidades se logró observar impactos bajos con probabilidades remota, improbable y en última

instancia probable, ya que no se puede descartar vertimientos aguas arriba de la bocatoma que aún no han sido identificados por la autoridad sanitaria y/o personal operativo del acueducto, sin embargo, en la ronda de protección de la fuente de abastecimiento no hay empresas de tipo industrial.

A partir de la fórmula de función de riesgo, se obtuvo una calificación de Riesgo bajo, destacando que las vulnerabilidades presentadas tienen menor riesgo que los impactos debido a que las primeras dependen directamente de los procesos realizados por la empresa prestadora, para el tratamiento y distribución óptima de agua apta para consumo humano.

La empresa de servicios públicos domiciliarios de Duitama, encargada de la zona urbana, es una sociedad mixta, con recursos propios y del estado para su funcionamiento, cuenta con más de 100 empleados entre directivos, administrativos y operarios. La empresa lleva en funcionamiento 44 años, cubriendo la captación, el tratamiento y la distribución de agua para consumo humano, y la recolección de las aguas residuales domiciliarias e industriales de la zona urbana. La capacidad operativa de la empresa permite que se realice de manera óptima los procesos de tratamiento, por tal motivo presenta IRCA Sin Riesgo.

En cuanto a la zona rural, la situación es diferente, para la elaboración de las matrices fue necesario realizar la identificación de los impactos y vulnerabilidades de cada uno de los acueductos para posteriormente realizar un promedio de los valores obtenidos.

La matriz de identificación de impactos presenta dos ítems altos y dos más medios, con un valor promedio total de 0,65.

La identificación de las vulnerabilidades permite entender que, lo que más impacto genera a los acueductos de la zona rural es la poca capacidad operativa y económica de las empresas prestadoras, lo cual se evidencia claramente en los resultados de las muestras de agua analizadas por el laboratorio departamental de salud pública.

Los acueductos rurales que suministran el servicio a una parte de la población del municipio (aproximadamente un 18% de los habitantes), son empresas pequeñas que funcionan con recursos propios, en su mayoría cuentan con un solo operario que realiza las actividades de manejo de planta y mantenimiento a redes

Gran parte de los operarios de planta, son personas de escasa formación académica, en su mayoría empíricos, con métodos propios, que incluso muchas veces resultan ser indiscutibles. Tan solo dos de los catorce acueductos rurales cuentan con análisis básicos para controlar la calidad de agua distribuida.

Los reactivos para coagulación y desinfección generalmente son escasos, o de baja calidad, lo cual dificulta el tratamiento de manera significativa, causando valores de IRCA Riesgo medio y alto.

Las fuentes de abastecimiento, donde se encuentran las bocatomas no están aisladas, lo cual genera constante contaminación antrópica y natural, por otra parte, algunas de estas se encuentran dentro de predios privados que realizan actividades de ganadería e incluso agricultura. Hasta la fecha no se ha evidenciado residuos de pesticidas en los análisis de agua cruda realizados, sin embargo, estas actividades económicas podrían generar algún tipo de contaminación.

El valor promedio de la matriz de vulnerabilidades es de 0,62, y el valor total del riesgo en función de los impactos y vulnerabilidades de la zona rural es de 0,40, Riesgo Medio.

5.3. Discusión de normas internacionales de calidad de agua para consumo humano (España y México).

Complementario a los resultados obtenidos y discutidos previamente, se realiza una comparación de las normas internacionales relacionadas con la calidad del agua.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

El artículo 10 del mencionado Decreto Real, menciona los procesos que se deben llevar a cabo para la potabilización de agua para consumo humano, dependiendo de los parámetros de calidad del agua captada. Por otra parte, en el artículo 18, menciona los tipos de análisis de autocontrol a realizarse, que no difieren en gran medida a los que se realizan en Colombia, sin embargo, se incluyen características como presencia de Enterococo, amonio, Cloro combinado residual y nitrito, si se utiliza la cloraminación y Biocidas o sus metabolitos cuando se usen otros biocidas distintos al cloro y sus derivados.

Los valores paramétricos de microorganismos como Escherichia coli, Bacterias coliformes y Clostridium perfringens (incluidas las esporas) deben 0,0 UFC en 100ml, de la misma manera como se establece en la normatividad colombiana. Los valores de aluminio, sulfatos y color comparten los mismos valores paramétricos establecidos en la resolución 2115 de 2007 de la Republica de Colombia. Por otra parte, las características de hierro, cloro residual libre, pH, turbiedad y manganeso, difieren de la siguiente manera:

Tabla 10. Comparación de los valores paramétricos normatividad española y colombiana.

Parámetro	Resolución 2115 de 2007 (Colombia)	Real Decreto 140/2003 (España)
Hierro	0,3 mg/l	0,2 mg/l
Cloro residual libre	De 0,3 mg/l a 2,0 mg/l	1,0 mg/l
pH	De 6,5 a 9 Unidades de pH	De 6,5 a 9,5 unidades de pH
Turbiedad	2 UNT	Salida ETAP 1 UNF Red de distribución 5UNF
Manganeso	0,1 mg/l	0.05 mg/l

Cabe mencionar que hay una marcada diferencia en cuanto a los parámetros de turbiedad, puesto que en Colombia el valor admisible de 2 UNT se presenta independientemente que sea en la salida de la red, los tanques de almacenamiento y/o la red de distribución, por su parte en la normatividad española se evidencia que difiere el valor en gran medida en cuanto a salida de la ETAP (1UNF) y la red de distribución (5UNF).

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

En el ítem 4 de la Norma Oficial Mexicana, se establecen los límites permisibles de calidad de agua para consumo humano, e incluye en el numeral 5 los tratamientos para la potabilización del agua dependiendo de las características a tratar, ya sean químicas, físicas o microbiológicas.

Los parámetros básicos establecidos incluyen valores de color, sabor, olor, turbiedad, aluminio, cloruros, cloro residual libre entre otros.

Se incluye características de Aldrín y dieldrín (separados o combinados), Clordano (total de isómeros), DDT (total de isómeros) y Gamma-HCH (lindano). Los parámetros microbiológicos (E. coli y Coliformes totales) y fisicoquímicos de Aluminio, hierro y cloruros, comparten los mismos valores admisibles establecidos en la normatividad colombiana. Sin embargo, el pH, la turbiedad, el color, entre otros difieren de la siguiente manera:

Tabla 11. Comparación de los valores paramétricos normatividad mexicana y colombiana.

Parámetro	Resolución 2115 de 2007 (Colombia)	NOM-127-SSA1-1994 (México)
Color	15 UPC	20 UPC
Cloro residual libre	De 0,3 mg/l a 2,0 mg/l	De 0,2mg/l a 1,5mg/l
Dureza total	300 mg/l	500mg/l
pH	De 6,5 a 9 Unidades de pH	De 6,5 a 8,5 unidades de pH
Turbiedad	2 UNT	5UNT
Manganeso	0,1 mg/l	0.15 mg/l

Los valores de turbiedad de la norma mexicana de nuevo difieren significativamente con los establecidos como admisibles para Colombia, los demás su variación no marca mayor diferencia.

6. CONCLUSIONES

La metodología utilizada para este estudio, es la adaptada para la elaboración

de los mapas de riesgo de la calidad de agua para consumo humano, establecida en la resolución 4716 de 2010, del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en su artículo 4, sin embargo, se enfocó a los resultados obtenidos de las muestras de agua para consumo humano tomadas a lo largo del año 2019. Se hizo una adaptación de los parámetros analizados por el LDSP, en la cual se incluyó los parámetros básicos fisicoquímicos y microbiológicos para que fuesen adecuados a los rangos para SIG.

Se obtuvo mapas de riesgo donde se evidencia el IRCA dependiendo de las zonas donde se realizó el análisis de agua.

Los puntos de muestreo ya se encontraban establecidos por los representantes de las empresas prestadoras de servicio y la autoridad sanitaria, el área rural cada acueducto cuenta con cuatro puntos a lo largo de la red, los cuales están ubicados al inicio, mitad de tramos y final de red.

Como se evidenció en el documento, la calidad de agua del municipio de Duitama presenta fuertes cambios dependiendo de la zona en donde es suministrada, de los recursos económicos de las empresas que es directamente proporcional a la cantidad de usuarios que aportan al mismo, incluso por la presencia o ausencia de lluvia.

Para que el índice de riesgo de la calidad de agua municipal se encuentre entre 0 y 5% Sin Riesgo, es necesario grandes inversiones por parte de los acueductos rurales, sobre todo en el área operativa de las empresas, que permita la contratación de personal capacitado para el manejo de las PTAP y las dosificaciones adecuadas según las características del agua cruda.

Las matrices de riesgo coinciden con lo evidenciado en las muestras de agua para consumo humano analizadas para el año 2019, el riesgo más alto se genera en el área rural del municipio, sin embargo y sin restarle importancia, las empresas que presentan este tipo de riesgo cuentan con pocos usuarios.

Otra dificultad presentada en los acueductos pequeños, es el rechazo por parte de la comunidad a que se realice desinfección del agua para consumo humano, por la falsa creencia de morbilidades asociadas a los reactivos utilizados.

Para finalizar, se logró evidenciar que la normatividad mexicana y española, no difieren en gran medida con lo establecido en Colombia como valores admisibles de calidad de agua para consumo humano.

Los resultados encontrados en este trabajo pueden ser utilizados para la elaboración de mapa de riesgos de la calidad de agua para consumo humano del municipio de Duitama en donde adicionalmente se debe plasmar los impactos que se pudiesen generar aguas arriba de las bocatomas de cada fuente de abastecimiento. Igualmente, esta información puede ser útil a la Alcaldía municipal para la toma de decisiones en cuanto mejoramiento y optimización de las plantas de tratamiento rurales.

7. BIBLIOGRAFÍA

Castillo, M. (2018). Evaluación de la red de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales de Panamá mediante herramientas estadísticas y sistemas de información geográfica. Proyectos 2018 UAH. http://www3.uah.es/master_universitario_hidrologia/archivos/Proyectos_2018.pdf

Corporación Autónoma Regional de Boyacá, (2015). El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Cuenca Alta y Media del Río Chicamocha. INGFOCOL.

Carvajal, S. (2015). Mapa de Riesgo de la Calidad de Agua para consumo humano de la vereda la Trinidad y la vereda Tocogua del municipio de Duitama. Alcaldía de Duitama.

De Duitama, A.M. (2009). Plan de ordenamiento territorial. Documento Técnico de Soporte, 2009.

De Duitama, A.M. (2019). Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Duitama Boyacá 2019.

Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Gómez-Isidro, S., Gutiérrez-Lozano, F. J., & Torres, C. M. (2011). Vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación de las aguas subterráneas en la región de Bucaramanga. Revista UIS Ingenierías, 10(1), 52-64.<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/53-64/2969>

IDEAM. (2020). Boletín condiciones hidrometereologicas. <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/boletin-condiciones-hidrometeorologicas>

INS. Colombia. (2017) Relación de la calidad del agua para consumo humano con la incidencia de enfermedad diarreica aguda en Colombia, 2017.

Lecca, E. R. (2013). Tratado del agua y la legislación peruana. Industrial Data, 16(2), 106-117.

Lozada, P. T., Vélez, C. H. C., Escobar, J. C., Vidal, A. P., & Patiño, P. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. Ingeniería e Investigación, 30(3), 86-95.<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3663927>

Martínez Ramos, J. J., & Almario Guio, D. P. (2015). Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano–irca y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento de Tolima en los años 2012 y 2013. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1420&context=ing_ambiental_sanitaria

Ministerio de la Protección Social, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Guía Técnica de Soporte para Identificar, Reducir y Formular Planes de Contingencia por Riesgos Sobre la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Resolución 4716 2010: Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007.

Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS.

United Nations. General Assembly. (2010). Resolution 64/292 (A/RES/64/292) adopted by the General Assembly on 28 July 2010. The human right to water and sanitation. United Nations Publication, Geneva, 3.

Victoria, N.M. (2011). Mapa de riesgos de calidad de agua para consumo humano de las fuentes abastecedoras de los sistemas de suministro de agua en áreas urbanas y rurales para el departamento de Arauca, Arauca: Unidad Administrativa Especial de Salud de Arauca